



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**VÝROBA PROTOTYPU ZPĚTNÉHO ZRCÁTKA NA 3D
FDM TISKÁRNĚ**

MANUFACTURING THE PROTOTYPE OF REARVIEW MIRROR ON FDM 3D PRINTER

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Radim Fridrich

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Radim Fridrich**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Výroba prototypu zpětného zrcátka na 3D FDM tiskárně

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Autor provede rešerši zvolené problematiky. Navrhne konstrukční řešení funkčního prototypu zpětného zrcátka do automobilu. A následně tento prototyp vyrobí a vyhodnotí. Součástí práce bude i hodnocení technologičnosti konstrukce a technicko ekonomické hodnocení.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše zvolené problematiky,
- návrh prototypu,
- výroba prototypu,
- vyhodnocení a doporučení do budoucna.

Seznam literatury:

GEBHARDT, Andreas. Understanding additive manufacturing: rapid prototyping - rapid tooling - rapid manufacturing. Munich: Hanser, c2012, ix, 164 s. ISBN 978-1-56990-507-4.

FOŘT, Petr a Jaroslav KLETEČKA. Autodesk Inventor. Brno: Computer Press, 2007, 296 s. ISBN 978-80-251-1773-6.

CHANG, Tien-Chien, Richard WYSK a Hsu-Pin WANG. Computer-Aided Manufacturing. 3. vyd. New Jersey: Prentice Hall, 2005, 684 s. ISBN 0-13-142919-1.

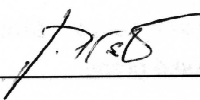
CHUA, Chee Kai., Kah Fai. LEONG a Chu Sing. LIM. Rapid Prototyping: Principles and Applications. 3. vyd. Singapore: World Scientific Publishing Co., 2010, 512 s. ISBN 978-981-277-897-0.

SLOTA, Ján, Martin MANTIČ a Ivan GAJDOŠ. Rapid Prototyping a Reverse Engineering v strojárstve.
Vyd. 1. Košice: Strojnícka fakulta, Technická univerzita v Košiciach, 2010, 207 s. ISBN
978-80-553-0548-6.

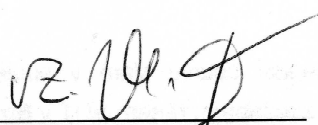
Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17.

V Brně, dne 4. 11. 2016





prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
ředitel ústavu



doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je konstrukce a výroba zpětného zrcátka do automobilu. S ohledem na požadovanou funkci a vlastnost byla zvolena technologie Rapid Prototyping – metoda Fused Deposition Modeling (FDM). První část práce je věnována přehledu používaných materiálů a popisu výroby pomocí metody FDM. V druhé části je popsán návrh 3D modelu zpětného zrcátka a proces jeho výroby. Závěr práce zahrnuje ekonomické zhodnocení nákladů na výrobu prototypu.

Klíčová slova

FDM, 3D tiskárna, modelování, Rapid prototyping, zpětné zrcátko

ABSTRACT

The goal of my bachelor thesis lies in designing and constructing a car rear-view mirror. Considering the requested function and properties, I have decided to use the Rapid Prototyping technology – the Fused Deposition Modelling method. First part of my thesis consists the FDM method introduction and the list of materials needed. The second part covers the 3D model design and his its production. The conclusion of the thesis shows the economical evaluation of my creation.

Keywords

FDM, 3D printing, modeling, Rapid prototyping, rear-view mirror

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FRIDRICH, R. *Výroba prototypu zpětného zrcátka na 3D FDM tiskárně*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 45 s., 2 přílohy. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba prototypu zpětného zrcátka na 3D FDM tiskárně vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

Datum

Radim Fridrich

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Oskaru Zemčíkovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady k této bakalářské práci. Současně bych také chtěl poděkovat své přítelkyni a rodině za podporu, kterou mi během vysokoškolského studia poskytovali.

ABSTRAKT	4
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
ÚVOD.....	9
1 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING	10
1.1 Definice pojmu rapid prototyping.....	10
1.2 Metoda Fused Deposition Modeling.....	11
1.3 Výhody a nevýhody FDM	12
1.4 Materiály používané technologií FDM.....	13
2 FUNKCE VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI.....	18
2.1 Požadované vlastnosti prototypu	18
3 MODELOVÁNÍ SOUČÁSTI V 3D CAD SYSTÉMU.....	19
3.1 Autodesk Inventor.....	19
3.2 Návrh konstrukce modelu.....	19
3.2.1 První varianta.....	21
3.2.2 Druhá varianta	22
3.2.3 Třetí varianta.....	23
4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE.....	25
4.1 Volba vhodného materiálu.....	25
4.2 Tvar součásti	25
4.3 Podmínky geometrie součásti prototypu.....	25
4.4 Využití podpor	25
4.5 Volba vhodnější varianty	26
4.5.1 Podmínky funkčnosti	26
4.5.2 Výběr varianty	29
5 VÝROBA PROTOTYPU	30
5.1 Výroba metodou FDM.....	30
5.2 Základní parametry použité RepRap tiskárny	31
5.3 Vytvoření zdrojového kódu pro tisk	31
5.4 Tisk jednotlivých součástí	32
5.4.1 Model součásti k uchycení sklíčka	32
5.4.2 Obal kolem kuličky.....	33
5.4.3 Krček.....	34
5.5 Dokončovací metody	35
5.5.1 Broušení	35

5.5.2 Tryskání	35
5.5.3 Napařování a máčení	35
5.6 Povrchové úpravy prototypu.....	35
5.7 Montáž tištěného prototypu	36
6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ.....	38
6.1 Vlastnosti výrobku.....	38
6.2 Výpočet nákladů na výrobu prototypu.....	38
6.3 Porovnání s dílem dostupný na trhu	40
ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	44

ÚVOD

Žijeme v době, kdy si společnost nedokáže bez automobilu představit každodenní život. Majorita součástí interiéru automobilu je z plastů, které nemají optimální životnost. Proto je nezbytné většinu částí za dobu chodu vyměnit nebo nahradit. Tyto díly jsou na trhu často nedostupné nebo dostupné jen omezeně a často stojí nemalé finance.

Podmínkou vnitřního zpětného zrcátka je maximální výhled za vozidlem při jízdě samotné nebo při parkování. Spolu s dobře nastavitelnými vnějšími zrcátky jde eliminovat tzv. mrtvý úhel, který může způsobit dopravní nehodu při předjíždění.

Je mnoho možností, jak může vnitřní zpětné zrcátko vypadat nebo jakou může mít velikost. Každá automobilní společnost má pro svoji značku specifické tvary a rozměry. Mezi nejtypičtější rozměry patří 200×65 mm, 250×60 mm nebo 270×80 mm.

Novou funkcí pro vnitřní zpětné zrcátko je zabudovaná kamera, která snímá obraz před jedoucím vozidlem a současně je propojena s miniaturní vodotěsnou kamerou, která se umísťuje na zadní část auta, především na státní poznávací značku. Spolu s přední kamerou kontrolují jízdu, detekují pohyb při parkování, případně může být zabudován i kolizní asistent.

Bakalářská práce popisuje zhotovení vnitřního zpětného zrcátka za pomoci 3D tisku metodou FDM tisku. Dále je tato metoda technicko-ekonomicky zhodnocena.



Obr. 1: Vnitřní zpětné zrcátko s kamerovým systémem.

1 TECHNOLOGIE RAPID PROTOTYPING

Rozmach 3D modelování s sebou přináší vznik nových technologií. Jednou z navazujících technologií je právě rapid prototyping. Tato technologie slouží k zajištění co nejrychlejší tvorby prototypů a modelů. Čas potřebný pro výrobu prototypu je značně snížen, čímž jsou sníženy i jeho finální náklady. Bez klasických metod obrábění lze dosáhnout během krátké doby libovolně komplikovaný tvar funkčního a dle zvolené technologie i pevnostně vyhovujícího dílu. Technologie rapid prototyping byla primárně používána pro prototypy do leteckého nebo automobilového průmyslu. Nyní se rozšiřuje do dalších průmyslů, jako je zdravotnictví nebo spotřební průmysl. Rapid prototyping je moderní směr, který zlepšuje vývojový proces při výrobě prototypů. [1]

Tato technologie postupně získává pozici výrobní metody pro přesnou, a především rychlou výrobu plně funkčních prototypových dílů nebo finálních výrobků pro široké spektrum působnosti v průmyslu. [1]

Rozsah pole působnosti této technologie je velmi široký a neustále se rozrůstá. Počátky technologie rapid prototyping sahají do osmdesátých let minulého století. U zrodu stál S. Scott Crump, který se významně podílel na vzniku metody stereolitografie. V současné době se metoda stereolitografie řadí mezi nejpřesnější výrobu prototypů. Její přesnost dosahuje hodnot okolo 0,05 až 0,2 mm na 100 mm délky prototypu. [1,2]

Cílem uvedené technologie je vytvoření fyzického modelu z počítačových dat v co nejvyšší kvalitě a za co nejkratší čas. Na rozdíl od konvenčních metod obrábění, při nichž je materiál odebíraný až po požadovaný tvar, se u metody rapid prototyping materiál přidává. Většina vybudovaných modelů se využívá k simulacím nebo různým typům zkoušek (obtékání, namáhání atd.). [2,3]

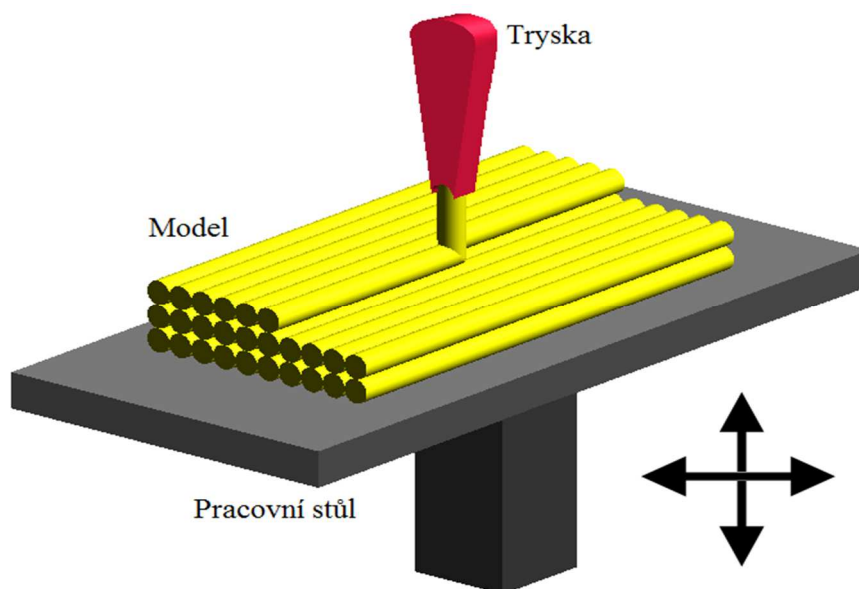
1.1 Definice pojmu rapid prototyping

Podstatou všech technologií rapid prototyping je nanášení příslušného materiálu po vrstvách. Jestliže jsou k dispozici data z CAD programu, je nutno vytvořit reálný model. Metoda nabízí cestu, jak tato data rychle převést do formy prototypu. Vzniklá prototypová součást může být podle typu použité technologie vytvořena z termoplastu, vosku, pryskyřice nebo kovového prášku. Z toho lze usoudit, že výsledné použití modelu je již od začátku výroby směřovatelným hlediskem pro vhodnou metodu 3D tisku pomocí technologie rapid prototyping. [1]

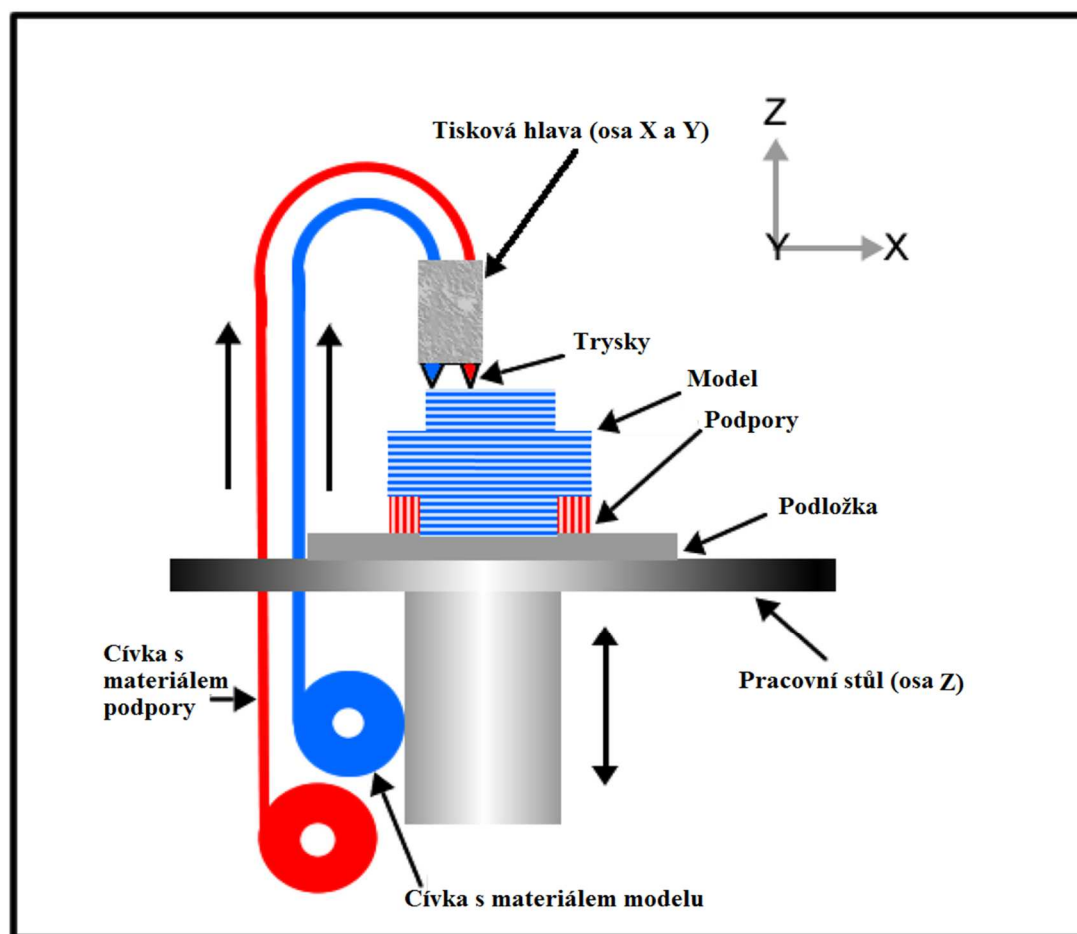
Následné procesy a vývoj v oblasti 3D modelování a 3D digitalizace v posledních letech zaznamenal velký technický nárůst. Díky tomu došlo k vývoji v oblasti hardware a software, který umožňuje řešit složitější úlohy s aplikačními možnostmi v běžné strojírenské praxi. V závislosti na výše uvedeném bylo rozšířeno využívání 3D modelování, rychlé výroby prototypů a CAD/CAM technologií. [1]

1.2 Metoda Fused Deposition Modeling

Metoda Fused Deposition Modeling (FDM) je jednou z mnoha metod RP. Principem technologie je nanášení roztaveného vlákna po vrstvách na pracovní plochu až do vzniku finálního výrobku (viz obr. 1.1). Základním materiálem je jakýkoliv netoxický termoplast v podobě navinutého drátu na cívce. Materiál ve tvaru tenkého vlákna vychází z vyhřívané trysky, která se pohybuje v rovině XY nad pracovním prostorem (schéma principu metody zobrazuje obr. 1.2). Materiál je v trysce ohříván do dosažení hodnoty o 1 °C vyšší než příslušná teplota tavení. Při styku s povrchem vytvářeného modelu se vlákna vzájemně spojují a vytváří vrstvy, které ihned tuhnou. Základ metody představuje 3D geometrický model vytvořený v CAD aplikacích nebo naskenování prostorovým skenerem, který je převeden do příslušného formátu (nejčastěji formát STL nebo STEP). Tyto formáty jsou vstupem pro programy KISSlicer, CatalysEX, Cure a mnoha dalších, v nichž je virtuální 3D model rozřezán na vrstvy s přesně definovanou vzdáleností.



Obr. 1.1: Princip nanášení vrstev [4].



Obr. 1.2: Schéma principu metody FDM [5].

1.3 Výhody a nevýhody FDM

Výhody a nevýhody užití metody FDM přehledně uvádí tabulka č. 1.

Tab. 1: Schéma principu metody FDM [6, 7].

Výhody	Nevýhody
funkční prototyp plastových součástí se svými mechanickými vlastnostmi blíží k reálnému výlisku	čas pro výrobu jednoho kusu je neporovnatelně delší oproti konvenčním technologiím pro výrobu plastových dílů
možnost rychlých změn modelu pomocí CAD systému	viditelnost jednotlivých vrstev a nízká kvalita povrchu
nízká cena	snížená pevnost v ose Z
velký rozsah výběru materiálů pro výrobu součástí	nevhodné pro velké série
možnost vyrobit téměř jakýkoliv tvar, včetně funkčních nerozebíratelných sestav	
možnost provádět povrchové úpravy včetně pokovení součástí	

1.4 Materiály používané technologií FDM

Modely při výrobě metodou FDM jsou vytvářeny z termoplastu ABS a jeho derivátů, polykarbonátu a jeho derivátů, PLA, PPSU, nylonu nebo termoplastu ULTEM. Vlastnosti uvedených materiálů mají řadu předností. [8]

ABS nabízí široký sortiment barev (slonová kost, bílá, černá, tmavě šedá, červená, modrá, olivově zelená, oranžová a fluorescenční žlutá). 3D díly z tohoto materiálu jsou mechanicky pevné a stabilní. Prototyp vyrobený z plastu ABS dosahuje až 80 % pevnosti plastů ABS vstřikovaných do formy, což znamená, že je mimořádně vhodný pro funkční aplikace. [8, 9]

ABSplus je ekologicky stabilní. Má o 40 % vyšší pevnost než standardní materiál ABS. Nabízí stejný sortiment barev jako v případě ABS, současně nabízí také možnost volby vlastní barvy. 3D díly z tohoto materiálu jsou mechanicky pevné a stabilní. Vzhledem k tomu, že ABSplus pracuje s rozpustnými podpůrnými materiály, není při jejich odstraňování zapotřebí ručního zásahu, a to ani v případě složitých tvarů a dutin. [10, 11]



Obr. 1.3: Přední nárazník a řetěz na kolo z materiálu ABSplus [12, 13].

ABS-M30 dosahuje až o 70 % vyšší pevnosti než standardní materiál ABS. Další výhodou materiálu je vyšší pevnost v tahu, odolnost proti rázu nebo vyšší pevnost v ohybu. Uvedený materiál má silné mechanické vlastnosti a je ideální pro výrobu funkčních modelů, prototypů, přípravků, nástrojů i koncových součástí. [10, 11]

ABS-ESD7 je elektrostaticky disipativní materiál vhodný na výrobu součástek pro koncové použití, elektronických výrobků, průmyslových zařízení a přípravků pro montáž elektronických součástí. Materiál je aplikovatelný tam, kde může hrozit nebezpečí poškození statickým nábojem. Hodí se také pro výrobu součástí určených do prašných prostředí a tam, kde by mohly být k modelu přitahovány nečistoty. Další výhodou lze spatřit při práci s podpůrnými materiály, neboť v případě ABS-ESD7 není nutný lidský zásah při jejich odstraňování, a to ani v případě složitých tvarů a dutin. [9, 10, 13]

ABSi je jedním z typů plastu ABS s vysokou odolností proti nárazu, představuje dobrou směs mechanických a estetických vlastností. Materiál umožňuje stavbu průsvitných prototypů v přírodní, červené a jantarové barvě. Finální součásti, které umožňují průchod světla, jsou hojně využívány v automobilovém průmyslu (pro výrobu zadních světel automobilů) nebo v odvětvích, kde je potřeba monitorovat tok tekutin (např. zdravotnictví). [9, 10, 11, 13]

ABS-M30i je konstrukční termoplast, který využívá rozpustný podpurný materiál a pyšní se dobrou mechanickou vlastností. M30i je biokompatibilní materiál, který umožňuje tisk lékařských, farmaceutických a potravinářských funkčních prototypů sterilizovaných pomocí ethylenoxidu nebo gama záření. [10, 11]



Obr. 1.4: Lebka a lékařský nástroj z materiálu ABS-M30i [13].

PLA (polyactid acid) je biologicky plně odbouratelný materiál vyráběný z kukuřičného nebo bramborového škrobu či cukrové třtiny. Díky svým mimořádným vlastnostem je stále více průmyslově využíván. Jeho největší předností je nepatrný sklon ke kroucení daný minimálním rozpínáním při tavení. I při nižších teplotách je výtisk pevný a jednotlivé vrstvy kvalitně spojené. Na rozdíl od ABS tento materiál není tolik náchylný k deformacím a vadám způsobeným vlivem chladnutí vytištěného materiálu, nevyžaduje tedy nutně použití vyhřívané podložky. Po tisku lze i tento materiál opracovávat běžnými postupy, nicméně díky nízkému tavnému bodu je například nelze dobře strojně brousit. Ruční broušení je možné prakticky bez omezení, materiál lze i dobře vrtat či lakovat. [9,14,15]

ASA kombinuje dobrou mechanickou pevnost a UV stabilitu s nejlepší částí estetiky, kterou může FDM technologie nabídnout. K dispozici je v deseti barvách (červená, oranžová, žlutá, zelená, tmavě modrá, bílá, tmavě šedá, světle šedá, slonová kost a černá). ASA pracuje s rozpustnými podpurnými materiály pro snadnou manipulaci, takže při jejím odstraňování není zapotřebí ručního zásahu. [13]



Obr. 1.5: Zásuvka a činky z materiálu PC-ASA [13, 16].

PC (polykarbonát) je nejvíce rozšířený průmyslový termoplast. Materiál je zásluhou své stability, přesnosti a trvanlivosti vhodný pro pevnostní části. Pomocí PC lze vyrábět funkční prototypy, nástroje a koncové součásti. Vysoká pevnost v tahu a v ohybu je ideální pro náročné potřeby, nářadí a upínače nebo šablony pro ohýbání. Materiál je vhodný při práci s rozpustným i odtržitelným podpurným materiálem. [10, 11, 13]

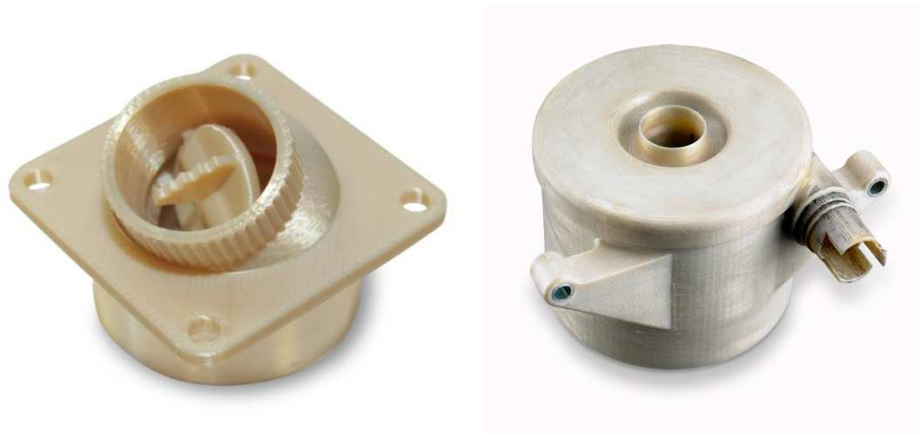
PC-ABS je jedním z nejpoužívanějších průmyslových termoplastů. Nabízí kombinaci těch nejlepších vlastností FDM termoplastů: pevnosti a tepelné odolnosti PC a pružnosti ABS. Tyto směsi se nejčastěji používají v telekomunikačních aplikacích nebo v automobilovém průmyslu. PC-ABS je cenově dostupné řešení a vhodná volba tam, kde je nezbytná pevnost a tuhost ve spojení s mechanickou a teplotní odolností. [9, 10, 11, 13]



Obr. 1.6: GamePad a ručka na pilu z materiálu PC-ABS [13, 17].

PC-ISO je silný biokompatibilní termoplast, který umožňuje designérům farmaceutických a potravinářských obalů tisknout silné, tepelně odolné nástroje a příslušenství přímo z CAD dat. Z uvedených materiálů jde o nejsilnější, tepelně odolný biokompatibilní materiál sterilizovaný pomocí ethylenoxidu nebo gama záření. [9, 10, 11]

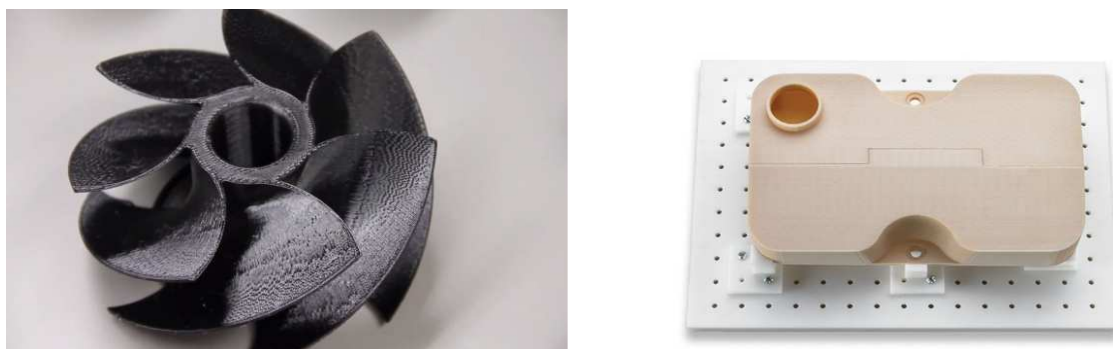
PPSF/PPSU (polyphenylsulfone) nabízí nejvyšší tepelnou odolnost ze všech FDM termoplastů. Materiál je vhodný pro tisk dílů odolných proti působení vyšších teplot a chemických látek, ať už v automobilovém, leteckém, kosmickém nebo zdravotnickém průmyslu. [10, 11, 13]



Obr. 1.7: Odvzdušňovací ventil a olejový filtr z PPSU/PPSF [13,18].

ULTEM 1010 je materiál biokompatibilní s vynikající pevností a tepelnou stabilitou. Je ideální pro pokročilé prototypy v automobilovém či leteckém průmyslu a ve zdravotnických a potravinářských výrobních odvětvích. [13]

ULTEM 9085 je silný a lehký průkopnický termoplast omezující hořlavost. Jeho tepelné, mechanické a chemické vlastnosti ho činí nejlepším ve většině kategorií. Zásadou FST hodnocení (flame, smoke, toxicity) je ideální pro použití v kosmickém, leteckém a automobilovém průmyslu. Vhodný je i pro aplikace, kde je zapotřebí vysoký poměr pevnost/hmotnost. Materiál používá pouze ručně odstranitelný podpůrný materiál, to při složitějších geometriích může být lehce problematické. [9, 10, 11, 13]



Obr. 1.8: Větráček a palivová nádrž z ULTEM 9085 [13, 19].

Nylon 12 nabízí nejvyšší houževnatost ze všech FDM termoplastů a vynikající chemickou odolnost. Materiál je ideální pro aplikace, které vyžadují vysokou únavovou odolnost včetně cyklického namáhání nejrůznějších západek a vložek. Vhodný je do leteckého, či automobilového průmyslu, kde pokryje vlastní výrobu nástrojů, přípravků, krytů apod. [10, 13]



Obr. 1.9: Inhalátor a ložisko z Nylonu 12 [20].

V následující tabulce (Tab. 2) jsou porovnány jednotlivé mechanické vlastnosti materiálů používaných technologií FDM. Uvedené údaje jsou pouze orientační, ve srovnání s mechanickými vlastnostmi od jiných výrobců se tyto hodnoty mohou nepatrně lišit.

Tab. 2: Srovnání vlastností materiálů používaných technologií FDM [9, 13, 21, 22].

Materiál	Mechanické vlastnosti					
	Mez pevnosti v tahu [MPa]	Modul pevnosti v tahu [MPa]	Mez pevnosti v ohybu [MPa]	Modul pevnosti v ohybu [MPa]	Poměrné prodloužení [%]	Teplota tepelného průhybu [°C]
ABS	22	1627	41	1834	6	76
ABSplus	33	2200	35	1650	6	76
ABS-M30	28	2180	48	1760	2	82
ABS-ESD7	36	2400	61	2400	3	82
ABSi	37	1920	62	1920	4,4	73
ABS-M30i	36	2400	61	2300	4	82
PLA	41	2250	56	2400	6	73
ASA	30	1950	48	1630	3	91
PC	30	1944	68	1800	2,5	127
PC-ABS	30	1720	41	1550	2	96
PC-ISO	57	2000	90	2100	4	127
PPSF/PPSU	55	2100	110	2200	3	189
ULTEM 1010	37	2200	77	2230	2	213
ULTEM 9085	42	2150	68	2050	2,2	153
Nylon 12	38,5	1138	61	1180	5,4	82

2 FUNKCE VYRÁBĚNÉ SOUČÁSTI

Předmětem bakalářské práce je vnitřní zpětné zrcátko automobilu (obr. 2). Jedná se o jeden z prvků aktivní bezpečnosti vozidla, mezi které dále patří účinné brzdy, kvalitní tlumiče nebo dobré pneumatiky. Vnitřní zpětné zrcátko se umísťuje doprostřed čelního skla. Hlavní funkcí zrcátka je zajištění přehledu o situaci za vozidlem při parkování nebo samotné jízdě ve vozidle. [23]

2.1 Požadované vlastnosti prototypu

Vyrobený prototyp zpětného zrcátka v interiéru automobilu musí pro správnou funkci splnit několik základních požadavků. Tvar zrcátka musí být jednoduchý, bez ostrých hran, které by mohly způsobit poranění řidiče při manipulaci. Zrcátko musí být uchyceno pevným spojitým materiálem k čelnímu sklu automobilu. Sklo zrcátka by nemělo překročit hranici plastového obalu, v opačném případě by mohlo dojít k poranění. Prostor pro uchycení a manipulaci se zrcátkem musí být adekvátní velikosti ruky dospělé osoby. Kloubní spojení na zadní straně zrcátka musí mít velmi dobré mechanické vlastnosti.



Obr. 2: Vnitřní zpětné zrcátko.

3 MODELOVÁNÍ SOUČÁSTI V 3D CAD SYSTÉMU

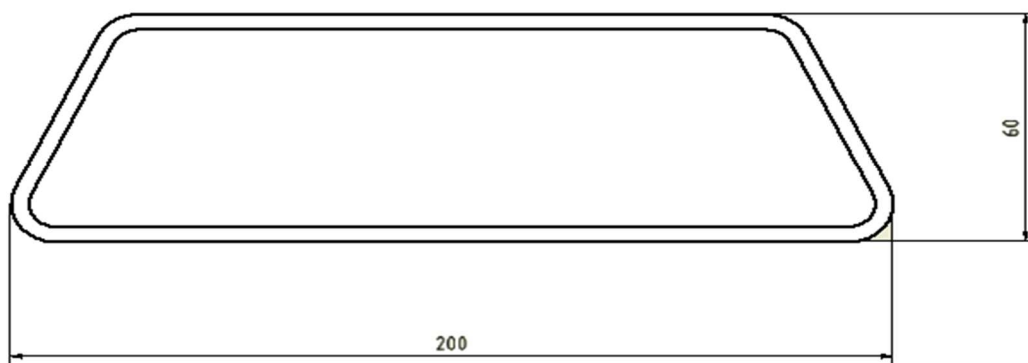
V současné době je na trhu mnoho softwaru, který se zabývá 3D geometrií. Mezi tyto programy patří CATIA, Rhinocerus, SolidWorks, DAEX, Blender, 3DSMax a mnoho dalších. Pro návrh prototypu byl využit program Inventor 2015 od americké firmy Autodesk, která nabízí bezplatnou studentskou verzi.

3.1 Autodesk Inventor

Program Autodesk Inventor je světově nejprodávanější CAD (Computer Aided Design) aplikace pro strojírenskou 3D konstrukci. Inventor obsahuje funkce pro parametrické a adaptivní 3D navrhování, tvorbu výkresové dokumentace, vizualizaci, prezentaci, simulaci, animaci a analýzu fyzikálních vlastností. Nedílnou součástí konstruování v Inventoru jsou prvky, jejichž geometrie se váže na parametrické 2D náčrty. Tyto součásti mohou být kombinovány a vázány různými typy vazeb do sestav. V Inventoru existuje vzájemná asociativita mezi modelem, výkresem a sestavou, při jakékoliv změně geometrie nebo rozměrů se automaticky aktualizuje celá sestava včetně výkresové dokumentace. Tato výhoda se používá při vytváření variant podobných součástí. [24,25,26]

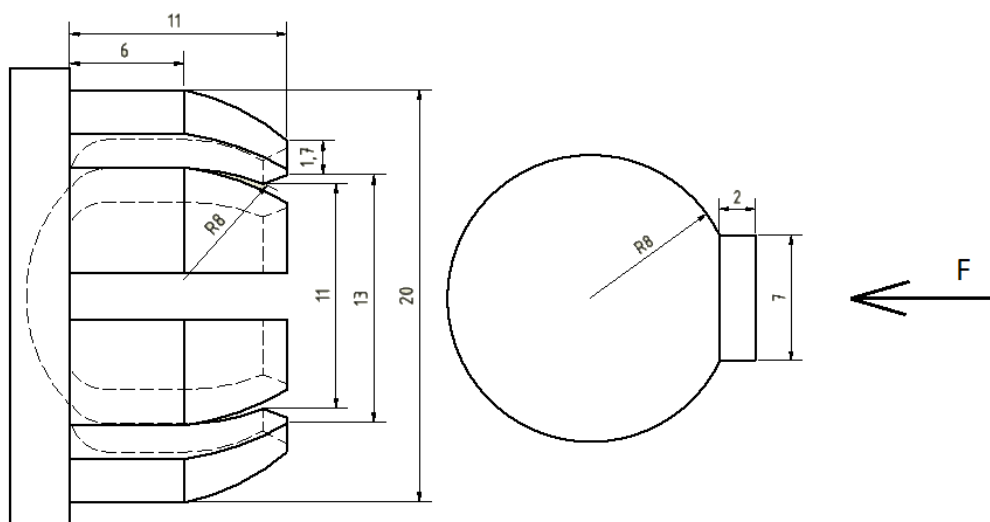
3.2 Návrh konstrukce modelu

Návrh vnitřního zpětného zrcátka vychází ze základních požadavků, které je potřeba dodržet pro správnou funkčnost. Prototyp je určen k přilepení k vnitřnímu čelnímu sklu automobilu. Výrobek by neměl bránit ve výhledu řidiče a současně by měl zabezpečit odraz převážné části plochy zadního okna automobilu. Návrh velikosti vychází z obvyklých rozměrů vnitřního zpětného zrcátka. Zaoblení je použito z důvodu lepšího uchycení. Parametry jsou pro představu shrnuty v jednoduchém náčrtu (Obr. 3.1). Dále je na uživateli, jak si zvolí upnutí mezi obalem kolem sklíčka a vnitřním čelním sklem. Podmínkou volby takového upnutí by měla být zejména dostatečná manipulace se zrcátkem do všech stran.



Obr. 3.1: Náčrt parametrů prototypu.

Kloubové uložení zrcátka musí být pro bezproblémovou pohyblivost zajištěno správným uchycením kuličky mezi packy, které ji obepínají. Na obrázku 3.2 vidíme, že je nezbytné najít sílu F potřebnou k přetlačení pacek, aby kulička vklouzla mezi ně a zároveň, aby byla uchycena pevně a nebylo možné ji snadnou vyjmout, případně aby při jízdě v automobilu samovolně nevypadla.



Obr. 3.2: Nákres kloubního uložení.

Mezi známé veličiny patří průměr kuličky, průměr otvoru, do kterého má kulička vklouznout, radius pro jednodušší vniknutí, délky pacek a posunutí pacek při otevření. Dále Youngův modul pružnosti ABS plastu, který činí 2,13 GPa. Kvadratický moment byl určen na základě lichoběžníkového tvaru jedné packy. Tato hodnota činí 16,37 mm⁴. Na základě uvedených veličin byla pomocí MathCadu vytvořena finální podoba vzorce (viz příloha 1 a 2).

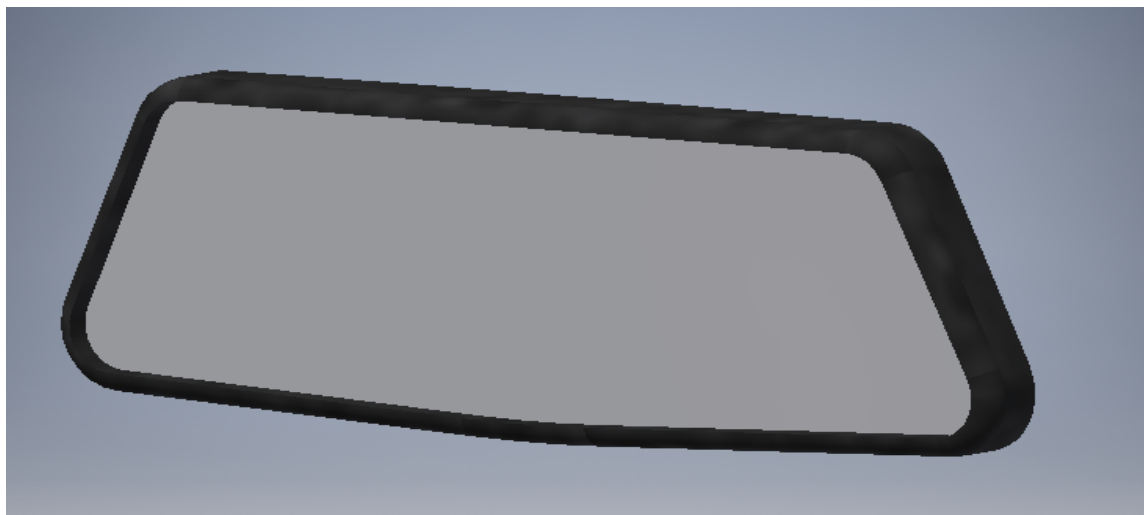
$$F = \frac{E * J_y * w}{I_1 + I_2}$$

$$F = 117,406 \text{ N}$$

Po dosazení do vzorce je získána hodnota 117,406 N, které jsou zapotřebí k přetlačení pacek a vniknutí kuličky mezi ně.

3.2.1 První varianta

Celé zrcátko je vymodelováno ze tří součástí. Návrh tvaru modelu součásti k uchycení sklíčka byl zahájen vytvořením 2D náčrtu a vytvořením obdélníku o požadovaných rozměrech, jako navrhovaná součást, která byla následně pomocí funkce vysunutí převedena do 3D podoby. Další 2D náčrt umožnil zredukovat obdélníkový tvar do podoby pravidelného lichoběžníku. V dalším kroku byla spodní hrana rozšířena a tím vytvořen větší prostor pro sklíčko. Tento náčrt byl dokončen funkcí vysunutí. Pomocí funkce skořepina byl odstraněn materiál z vnitřní části modelu vytvořením dutiny pro jednodušší umístění sklíčka. Stěny mají tloušťku 4 mm. Následně byly zaobleny vnitřní hrany pomocí funkce zaoblení. Veškeré hrany po obvodu součásti jsou zaobleny poloměrem 12 mm, vyjma spodní hrany, jejíž poloměr činí 302 mm. Poté byl model otočen a do středu součásti byla vytvořena díra pro vložení další součásti pomocí funkce vysunutí. V tomto případě byl materiál opět odebírán. Otvor má průměr 23,5 mm. Celá první část je vyobrazena na obrázku 3.3.

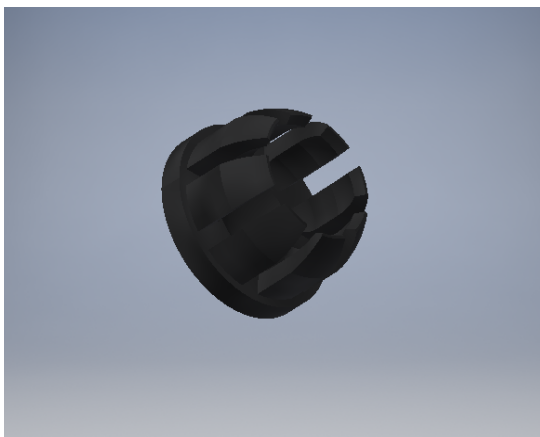


Obr. 3.3: První varianta – model součásti k uchycení sklíčka.

Další součástí je držadlo kuličky, která zároveň představuje kloub celého modelu. První krok spočíval ve vytvoření 2D náčrtu, v němž byl vytvořen kruh s výřezem na kuličku další součásti. Celý tento náčrt byl pomocí funkce rotace rotován kolem příslušné osy. Dalším 2D náčrtem byla vytvořena plocha pro uchycení a znesnadnění vyklouznutí kuličky. I tato plocha byla pomocí funkce rotace rotována. Jelikož se jedná pouze o osminu požadovaného uchycení, byla provedena funkce kruhové pole a plocha byla vytvořena po celém obvodu. Pomocí funkcí zkosení a zaoblení byl následně tvar součásti upraven do požadovaného tvaru. Celý tvar součásti je vyobrazen na obr. 3.4.

Poslední součástí první varianty je krček spojující čelní sklo automobilu a vlepený obal kolem kuličky uvnitř zrcátka. Návrh součásti byl zahájen pomocí 2D náčrtu obdélníkové podstavy o rozměrech 48 mm × 6 mm, která byla následně pomocí funkce vysunutí vysunuta o 25 mm. Hrany byly pomocí funkce zaoblení v osách XZ zaobleny o poloměr 6 mm a v ose YZ o poloměr 4 mm. Uprostřed tohoto obdélníku byl vytvořen další 2D náčrt, který tvoří nepravidelný čtyřúhelník. Ten byl pomocí funkce vysunutí vysunut

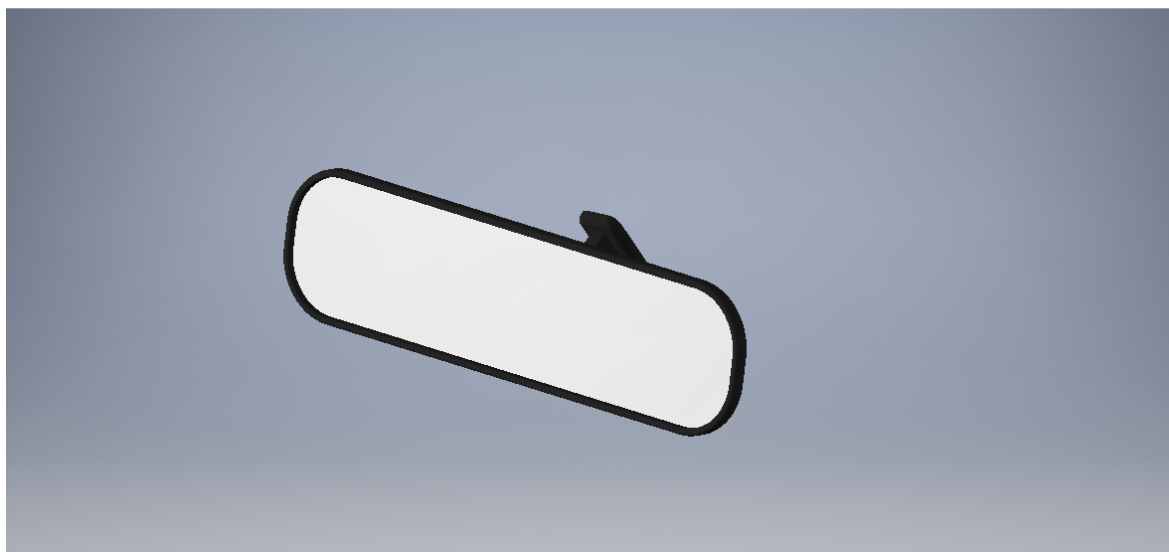
o 5 mm na každou stranu od těžiště podstavy. Posledním 2D náčrtem této součásti je kulička, jež vznikla pomocí funkce rotace o poloměru 16 mm. Mezi kuličkou a nepravidelným čtyřúhelníkem je krátké kruhové spojení o délce 5,2 mm. Součást je vyobrazena na obr. 3.4.

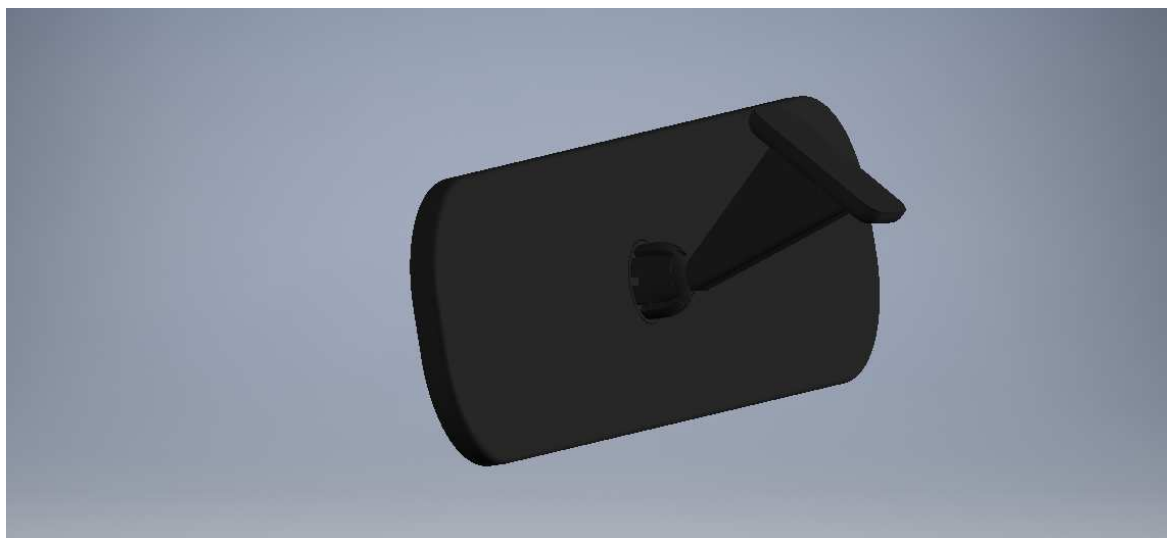


Obr. 3.4: Držadlo kuličky + krček.

3.2.2 Druhá varianta

Varianta č. 2 je modelována ze tří součástí. Návrh tvaru modelu byl započat 2D náčrtem, ve kterém byl vytvořen obdelník o rozměrech 270 × 80 mm. Tento návrh byl ukončen a následně vysunut o 8 mm pomocí funkce vysunutí do 3D podoby. Zde byl pomocí funkce skořepina odebrán materiál z vnitřní strany o 3,5 mm. Tato plocha byla následně využita na sklíčko. Dále bylo sklíčko otočeno a ze zadní strany uprostřed byl navržen další 2D náčrt, který zajišťuje otvor na držadlo kuličky. Tento otvor má průměr 23,5 mm a je vysunut o 3 mm do součásti. Velikost otvoru je dostačující pro držadlo kuličky, které se shoduje s variantou 1. Nakonec byly vyhlazeny hrany zaoblením o 2 mm. Držadlo na kuličku a krček jsou shodné jako u varianty č. 1. Tři zkonstruované části varianty 2 jsou vyobrazeny na obrázku 3.5.



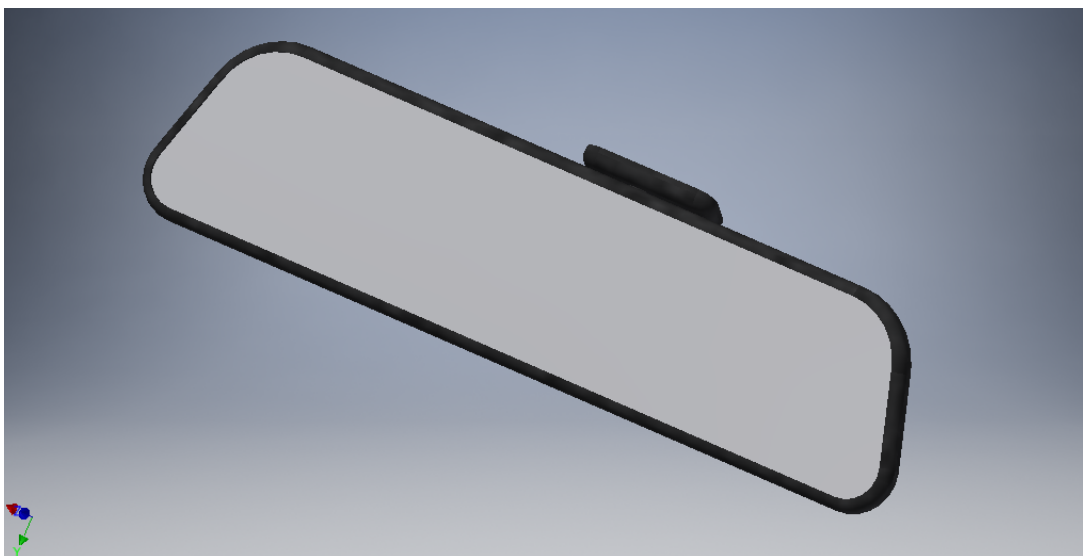


Obr. 3.5: Druhá varianta modelu.

3.2.3 Třetí varianta

Třetí varianta návrhu se skládá ze tří součástí, části jsou obdobné jako u dvou předešlých variant. Obal na sklíčko byl konstruován pomocí 2D náčrtu, kde délka spodní části je 270 mm, vrchní 300 mm. Na vytvoření lichoběžníkového tvaru byla použita funkce zaoblení, resp. R15 u vrchní části a R28 u spodní části. Tím byl nakreslen 2D náčrt. K převodu na 3D součást byl model vysunut o 10 mm pomocí funkce vysunutí. Následovalo použití funkce skořepina, která umožňuje odebrat materiál až na hrany po obvodě. Tady byla ponechána tloušťka stěn 4 mm. Zbytek materiálu byl pomocí této funkce odstraněn. Po použití funkce skořepina byl na nově vzniklém obvodu ve vnitřní části modelu vytvořen nový náčrt a vysunut o 5 mm. Vysunutí vyplnilo přebytečný otvor po vybrání materiálu. Zde bylo následně nalepeno sklíčko. Po otočení obalu na sklíčko uprostřed součásti byl vysunutím vytvořen otvor o průměru 23,5 mm pro uchycení držadla na kuličku. Pro dokončení celé součásti byly pomocí funkce zaoblení všechny ostré hrany zaobleny o 4 mm.

Krček byl zkonstruován v 2D náčrtu pomocí kruhu o poloměru 30 mm. Následovalo vytvoření 40 mm dlouhé tečny kolmé na kruh. Pomocí funkce kruhové pole bylo vytvořeno a zkonstruováno sedm pozic po 80°, které načrtly trajektorii budoucího krčku. Vytvoření krčku bylo završeno funkcí tažení se zúžením 5°, která vytváří prvek nebo těleso tažením jednoho nebo více profilů pomocí náčrtu ve směru trajektorie. Dalšími potřebnými součástmi k finálnímu zkonstruování varianty č. 3 bylo držadlo kuličky, kulička a podstava. Jmenované součásti jsou totožné jako v předchozích variantách. Funkce vazba dokonale spojila součásti k sobě, jak je zobrazeno na obr. 3.6.



Obr. 3.6: Varianta č. 3.

4 TECHNOLOGIČNOST KONSTRUKCE

Technologičnost konstrukce je dána souhrnem vlastností technicko-ekonomického charakteru, které zajišťují optimální podmínky nejen z hlediska funkce, spolehlivosti, životnosti výrobku a jeho jednotlivých součástí, ale také v plné míře respektují hledisko efektivnosti výroby. Technologičnost je relativní vlastnost výrobku, protože je vždy ovlivněna konkrétními podmínkami výrobního procesu [27].

4.1 Volba vhodného materiálu

Pro výběr vhodného materiálu bylo nezbytné provést adekvátní ekonomické zhodnocení a posoudit mechanické vlastnosti nabízejících se materiálů. Nezbytným aspektem posouzení se stala také dostupnost jednotlivých typů materiálů. Při výběru bylo zváženo více typů materiálů (přehledně je uvádí tabulka č. 2). Dle cenové dostupnosti a potřebných mechanických vlastností se jeví jako nejvhodnější materiály PLA, ABS a ASA. Ani jeden z nich není extrémně drahý, jejich cenové rozmezí se pohybuje mezi 500–600 Kč/kg. ASA má nejlepší tepelnou odolnost, ale zato slabší mechanické vlastnosti. Vzhledem k využití výrobku nemusí mít materiál vysokou tepelnou odolnost. Proto bylo přistoupeno k použití materiálů s lepšími mechanickými vlastnostmi – tedy PLA a ABS plast. Oba jsou pevné, odolné termoplasty s vynikající odolností proti nárazu, případné nerovnosti jsou snadno opracovatelné.

4.2 Tvar součástí

Díky použité technologii FDM tisku jsou tvarové možnosti téměř neomezené. Je však nezbytné mít na paměti, že čím tvarově složitější součást, tím obtížnější je realizace a výroba prototypu, především co do složitosti procesu výroby i ekonomických nákladů. Jednou z možností při tisku složitějších součástí je dělení, kdy je výrobek rozdělen na více menších částí v místech, které nejsou příliš namáhány. Dělené části jsou následně slepeny při dodržení požadované pevnosti lepených spojů.

Ačkoliv se nejedná o složitou součást, bylo zpětné zrcátko vyrobeno dělením, neboť kvůli kloubnímu spojení by nebylo možné vytisknout celou součást z jednoho kusu, aniž by byla omezena jeho funkčnost.

4.3 Podmínky geometrie součástí prototypu

Jedno ze základních pravidel pro 3D tisk je pevné a stabilní spojení tištěného prototypu s vyhřívanou podložkou tiskárny. Je tedy nutné správně zvolit orientaci modelu při tisku. Prototyp by měl obsahovat převážně svislé stěny. Při vychýlení stěny od svislé roviny klesá kvalita spojení následujících vrstev. Podpurný materiál se používá při vyšším vychýlení stěny (více než 45°). U modelů se doporučuje zkosení hran o 45° na rozdíl od zaoblení, zejména kvůli omezení samotné 3D tiskárny.

4.4 Využití podpor

Pro zabránění vzniku defektu nebo roztečení materiálu je třeba počítat s podporou. Jedná se o podpurný materiál, který vzniká tam, kde je součást příliš odkloněna od svislého

směru nebo tam, kde není přítomna rovná základna. Tento podpůrný materiál se dá odstranit mechanicky, broušením, řezáním, odleptáním nebo chemickým rozpuštěním materiálu podpory ve speciálním roztoku. Komplikace při odstraňování podpor mohou nastat v uzavřených prostorech nebo v prostorech se špatným přístupem. Tento fakt je třeba brát v potaz při konstrukci modelu a zabezpečit ji tak, aby k uvedeným komplikacím nedocházelo, nebo alespoň v co nejmenší míře. Tato opatření vedou ke zkrácení výrobního času a také ke zjednodušení procesu odstraňování podpůrného materiálu. Množství podpor závisí na orientaci příslušného výrobku na pracovní desce 3D tiskárny.

4.5 Volba vhodnější varianty

Navržené varianty je možné použít pro montáž uvnitř interiéru. Je nutné vybrat vhodnější variantu s lepšími mechanickými vlastnostmi a jednodušší konstrukcí.

Mezi hlavní kritéria volby patří možnosti samotné 3D tiskárny. Obtížný je tisk kulatých nebo oblých tvarů. Všechny tři varianty mají obdobné řešení kloubního natáčení pro obal na sklíčko. Dále jsme limitováni přetížením v automobilu a výsledky pevnostních analýz.

4.5.1 Podmínky funkčnosti

Pro mnohé součásti v automobilu jsou předepsány hodnoty přetížení jejich výdrže. Hodnota přetížení je pro součásti důležitá z důvodu vymezení vibrací nebo kvůli nerovnostem na silnicích či v terénu. V případě uzlů rámu závodních aut se tato hodnota v minulém století pohybovala kolem 4G. Avšak v případě závodních aut jsou požadavky kvůli bezpečnosti nebo trvanlivosti součástí vyšší. Prototyp vnitřního zpětného zrcátka je určen pro běžné automobily, proto je možné počítat s menší hodnotou přetížení. Zvolena byla hodnota 3G. [28]

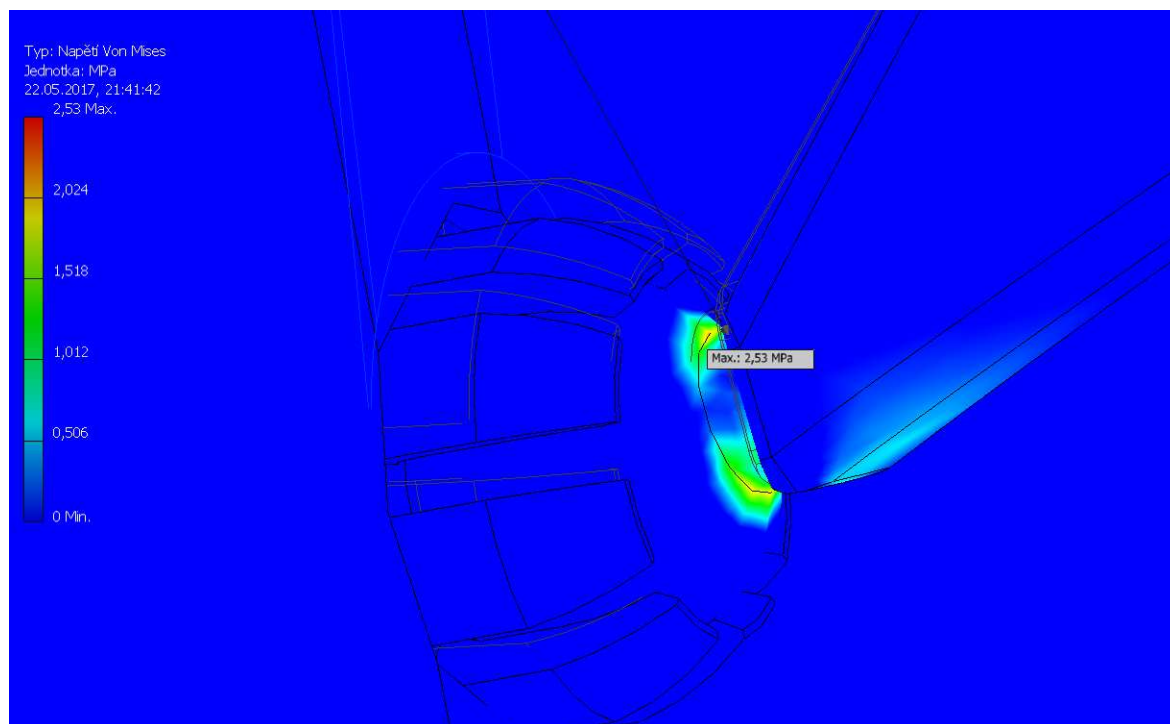
G – gravitační přetížení

Jedná se o sílu, která na člověka působí v důsledku zrychlení. U síly je důležitý směr působení a její velikost. Tuto sílu označujeme písmenem G. Pilot, který váží 90 kg, je při gravitačním zrychlení 3G stlačován do sedadla silou, která se rovná trojnásobku jeho hmotnosti, tedy 270 kg. [29]

Simulace nejsou zcela přesné, protože modul pevnostní analýzy není úplně plnohodnotným výpočtovým nástrojem. Pokud bychom chtěli přesnější výsledky, bylo by vhodné využít software Autodesk Simulation nebo Ansys.

Varianta č. 1

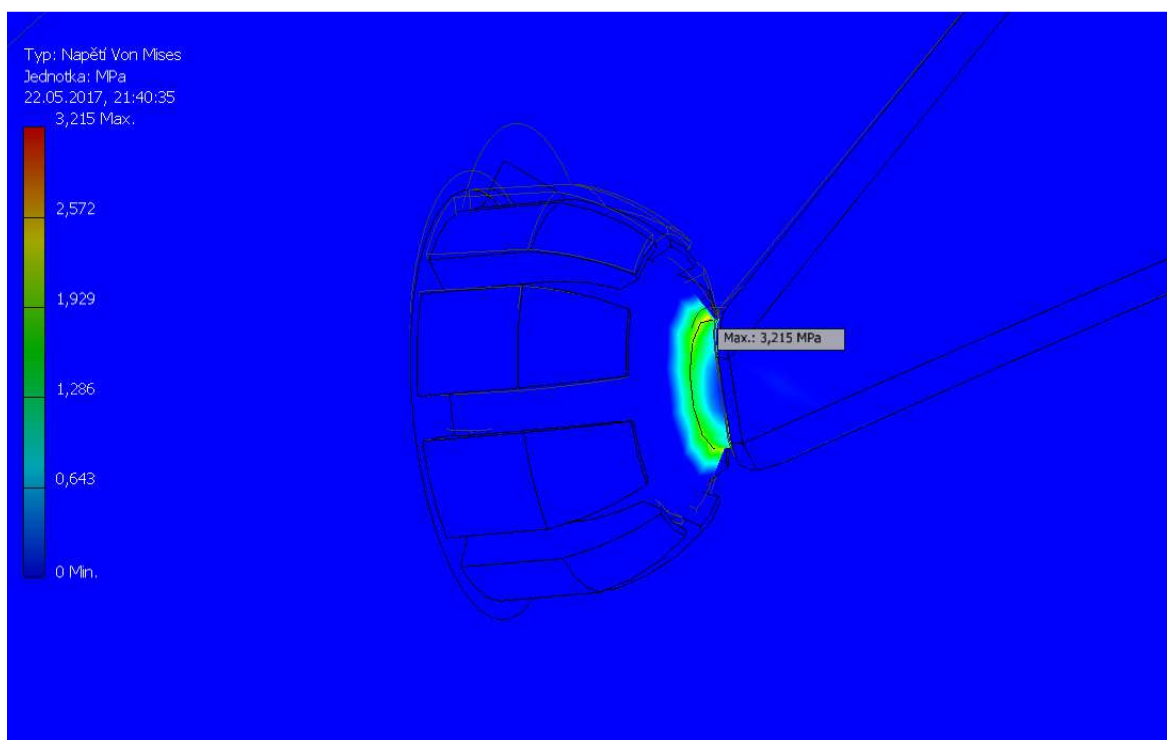
Simulaci první modelované varianty lze sledovat na obr. 4.1. Vstupní parametry záleží na hmotnosti a gravitačním přetížení, které bylo vypočteno výše. Hmotnost první varianty činí 0,133 kg. Po vynásobení hmotnosti spolu s přetížením vychází hodnota $F_1 = 3,914 \text{ N}$. Dalším parametrem je položka gravitace a poslední pevná vazba v místě nalepení, kde se držadlo dotýká čelního skla. Maximální hodnota napětí se rovná 2,53 MPa.



Obr. 4.1: Pevnostní analýza u varianty č. 1.

Varianta č. 2

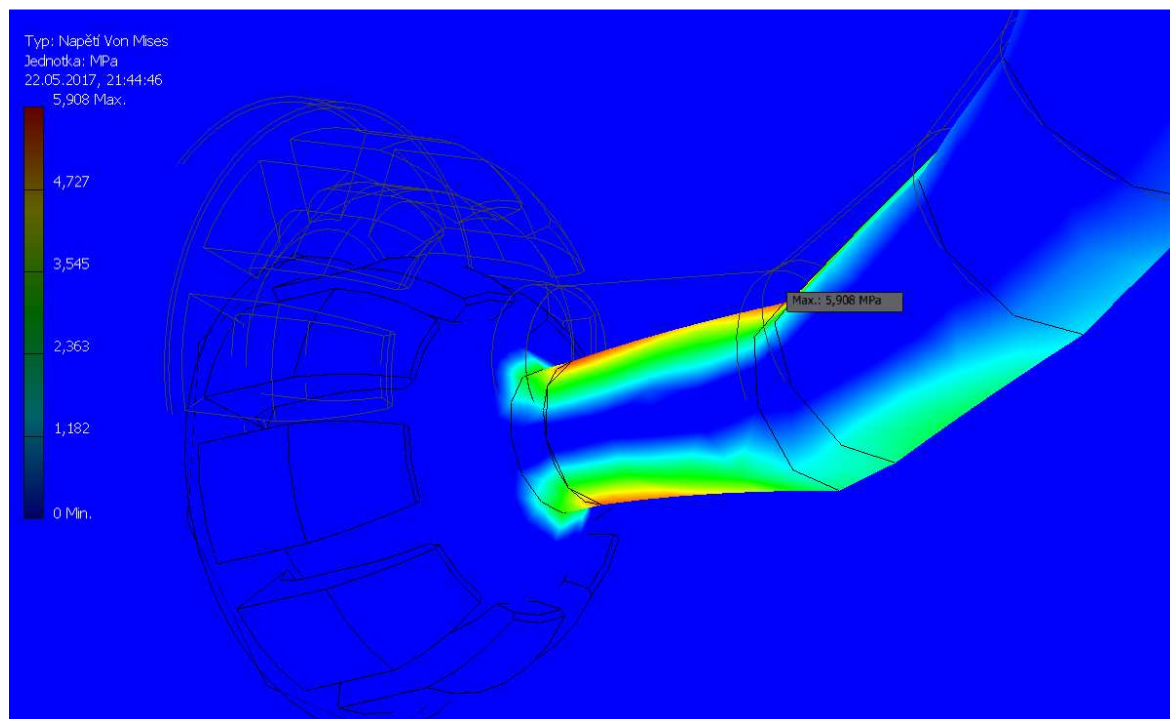
Výsledek simulace u varianty 2 lze sledovat na obr. 4.2. Vstupní parametry se příliš neliší od první varianty. V tomto modelu se liší i hmotnost celé součásti. Hmotnost tohoto modelu činí 0,154 kg. Spolu s výše zmíněným přetížením vzniká síla o velikosti 4,532 N. Výsledné napětí se rovná 3,215 MPa.



Obr. 4.2: Pevnostní analýza u varianty č. 2.

Varianta č. 3

Poslední modelovaná součást je oproti předešlým modelům nepatrně těžší. Její hmotnost je 0,197 kg. Po vynásobení hmotnosti a gravitačního zrychlení byla vypočtena síla o velikosti 5,797 N. Výsledek a hodnotu napětí, která činí 5,908 MPa, lze vidět na obr. 4.3.



Obr. 4.3: Pevnostní analýza u varianty č. 3.

4.5.2 Výběr varianty

Jelikož byly vymodelovány tři varianty vnitřního zpětného zrcátka, je třeba zvolit nejvhodnější, která bude vyrobena. Výběr varianty je limitován možnostmi tiskárny, která má omezení při tisku oblých tvarů, či velikostí vytvořeného modelu. Výsledná varianta by měla být jednoduchá pro tisk i pro následný post-processing jako je broušení, povlakování aj. Na základě pevnostních analýz si lze všimnout, že největší napětí se objevuje u varianty 3, na rozdíl od první, která má napětí nejmenší. Třetí varianta je zkonstruována s oblým držadlem, které by při tisku mohlo způsobit problém, proto tato možnost byla vynechána, neboť by zbytečně bylo vynaloženo mnoho času při odstraňování podpor. První varianta má větší tloušťku než druhá, proto je tu možnost rozříznout kus na dvě poloviny, které mohou být následně slepeny. V případě druhé varianty by při tisku bylo nutné použít podpory. Kvůli nižšímu napětí a vzhledem k tomu, že není nutné použít podpory, byla zvolena varianta č. 1.

5 VÝROBA PROTOTYPU

Proces výroby na 3D tiskárně lze rozdělit na 2 důležité části. První z nich je samotný tisk, druhou částí jsou dokončovací operace. Mezi ně patří odstranění případných podpůrných materiálů nebo vyhlazení povrchu součástí. Všechny vyráběné součásti byly vyrobeny metodou RP z materiálů ABS nebo PLA.

5.1 Výroba metodou FDM

V programu Autodesk Inventor 2015 byl 3D model převeden do formátu STL, který je žádoucí pro programy, jež dokážou změnit tento formát na zdrojový kód. Celý prototyp byl vytištěn na tiskárně Original Prusa i3 mk2, která spadá do RepRap tiskáren. Příslušná tiskárna je vyobrazena na obrázku 5.1.



Obr. 5.1: Vyobrazení použité tiskárny pro tisk prototypu.

5.2 Základní parametry použité RepRap tiskárny

RepRap je mezinárodní komunitní projekt 3D tiskáren vyvíjených na principu otevřeného hardware. RepRap tiskárna se skládá z mnoha součástek. Převážně se jedná o mnoho plastových dílů, které je možno vytisknout na jiném RepRapu. Mimo plastové díly, které tvoří značnou část tvaru konstrukce, obsahuje kovové tyče, ložiska, řemeny, šrouby, krokové motory, tiskovou hlavu s tryskou nebo vyhřívanou skleněnou desku. Krokové motory jsou řízené počítačem. Samotný název RepRap je zkratkou *replicating rapid prototyper*, což znamená, že je schopný seberekopie a rychlého prototypování. Základní parametry jsou uvedeny v tab. 5.1. [30, 31]

Tab. 5.1: Základní parametry RepRap tiskárny.

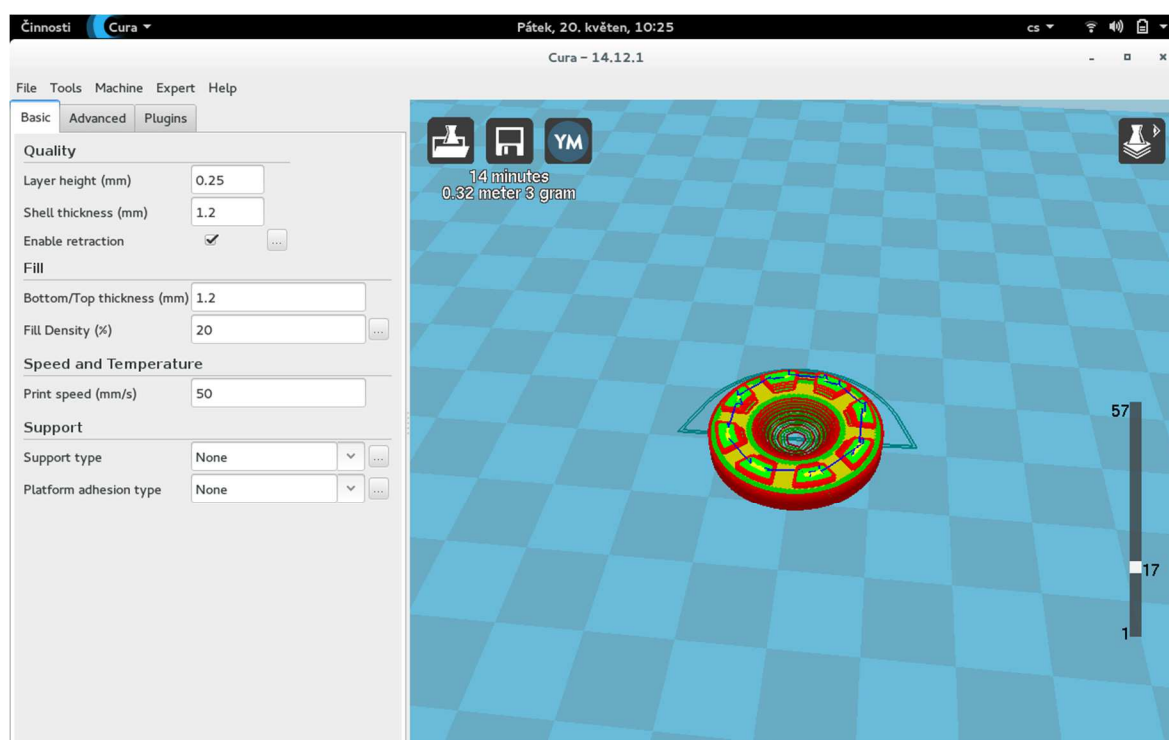
Parametr	Hodnota/typ
Vnější rozměry	420 × 420 × 380 mm
Hmotnost	6,5 kg
Průměrná spotřeba	70 W (tisk PLA) nebo 110 W (tisk ABS)
Pracovní plocha	10500 cm ³ (250 × 210 × 200 mm)
Výška vrstvy	od 0,05 mm
Tisková rychlost	300 mm/s
Podporované materiály	ABS, PLA, Nylon, ASA ad.

5.3 Vytvoření zdrojového kódu pro tisk

Existuje mnoho programů použitelných pro tvorbu zdrojového kódu pro tisk součástí na 3D tiskárně. Mezi ně patří CatalystEX, Print Wizard, KiSSlicker, Slic3r, Cura nebo Insight. Z uvedených programů byl pro vytvoření zdrojového kódu vybrán program Cura.

Cura je snadno použitelný, hardwarově nenáročný a rychlý. Jedná se o program, který je zdarma a s obsahem potřebným pro tisk na 3D tiskárnách. Vstupem do programu je uzavřený objemový model součásti ve formátu STL, výstupem zdrojový kód pro tisk součásti v tiskárně. [32]

Po umístění modelu do programu je model vložen na virtuální prostor 3D tiskárny. V programu lze nastavit parametry tisku jako je použití podpůrného materiálu, výška vrstvy, tloušťka stěny nebo rychlost tisku. Program Cura taky dokáže odhadnout čas vytisknutí výrobku, váhu či délku spotřebovaného materiálu (viz obr. 5.2).



Obr. 5.2: Uživatelské rozhraní programu Cura.

5.4 Tisk jednotlivých součástí

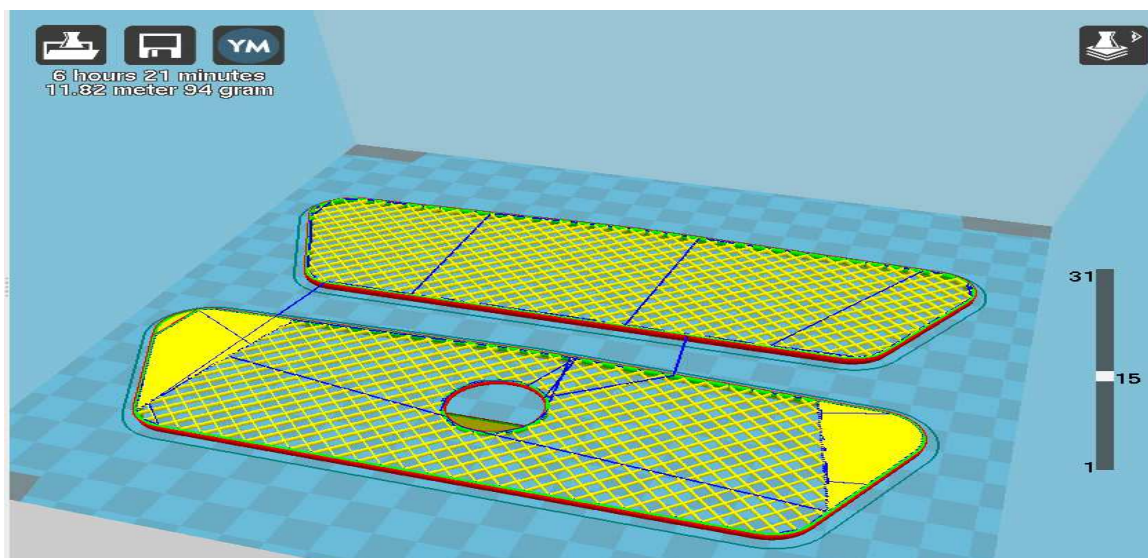
Některé součásti byly z důvodu zaoblení nebo úspory času rozřezány na dvě poloviny, které byly následně slepeny, čímž nedochází k ohrožení funkčnosti nebo mechanických vlastností modelu. Parametry všech součástí byly v programu nastaveny na stejné hodnoty, tyto hodnoty jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tab. 5.2: Nastavení parametrů tisku.

Parametr	Hodnota
Výška vrstvy	0,25 mm
Tloušťka stěny	1,2 mm
Hustota výplně	20 %
Tloušťka spodní a horní hrany	1,2 mm

5.4.1 Model součásti k uchycení sklíčka

Model součásti k uchycení sklíčka byl rozřezán na dvě poloviny. Toto rozřezání bylo nezbytné provést, aby bylo kvůli zaoblení hran zamezeno vzniku deformací a zbytečnému užití podpůrného materiálu. Díky rozřezání modelu byl současně ponechán výstup pro sklíčko a vypuknutí ze strany, kde se nachází další součást – kulička. Trajektorie pohybu trysky po modelu je znázorněna na obr. 5.3.



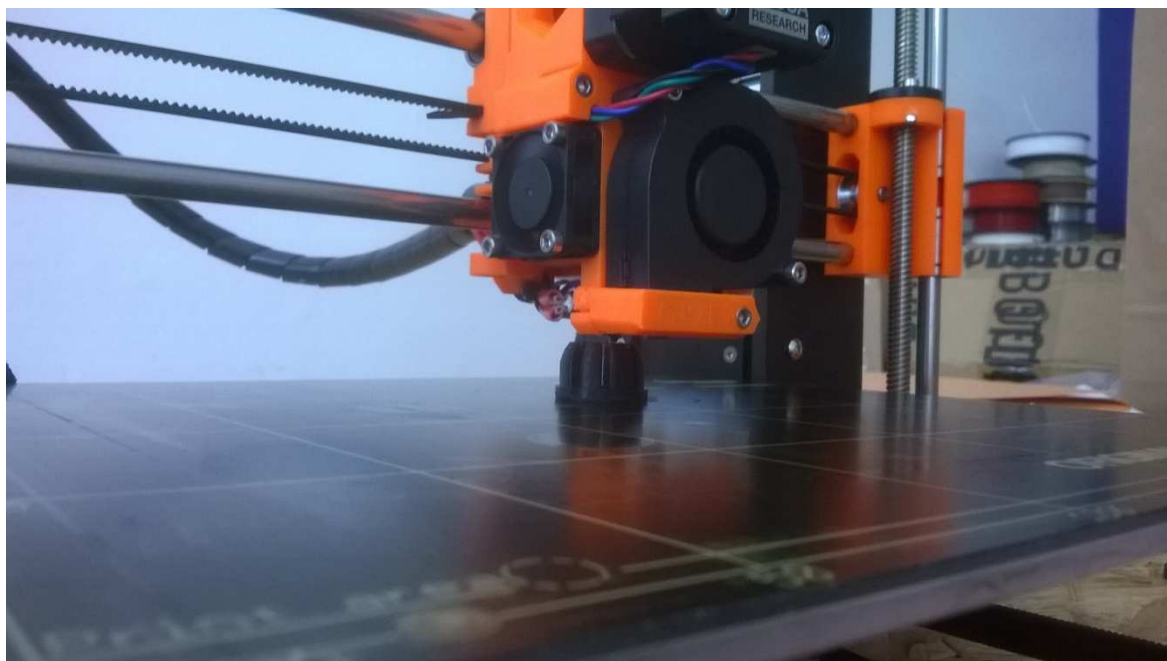
Obr. 5.3: Model součásti k uchycení sklíčka v uživatelském rozhraní programu Cura.

5.4.2 Obal kolem kuličky

Pro zajištění funkčnosti byly nejprve vytištěny obě části a vyzkoušeno, zda bude prostor pro uchycení kuličky dostačující. Nejprve byl vyzkoušen materiál PLA, který nevydržel při nasazení kuličky – došlo k prasknutí úchytných částí obalu (viz obr. 5.4). Pro úpravu dané součásti bylo možno změnit konstrukci nebo použít jiný materiál. Případně by bylo možné tisknout podélně každou packu zvlášť a následně je slepit. Kvůli této součásti by mohla být horší trvanlivost výrobku, proto byla zvolena možnost, aby byl obal vytištěn z jiného materiálu. V tomto případě byl zvolen materiál ABS kvůli dostupnosti, ceně a lepším vlastnostem, než má PLA. Detail poslední vrstvy tisku je vyobrazen na obr. 5.5.



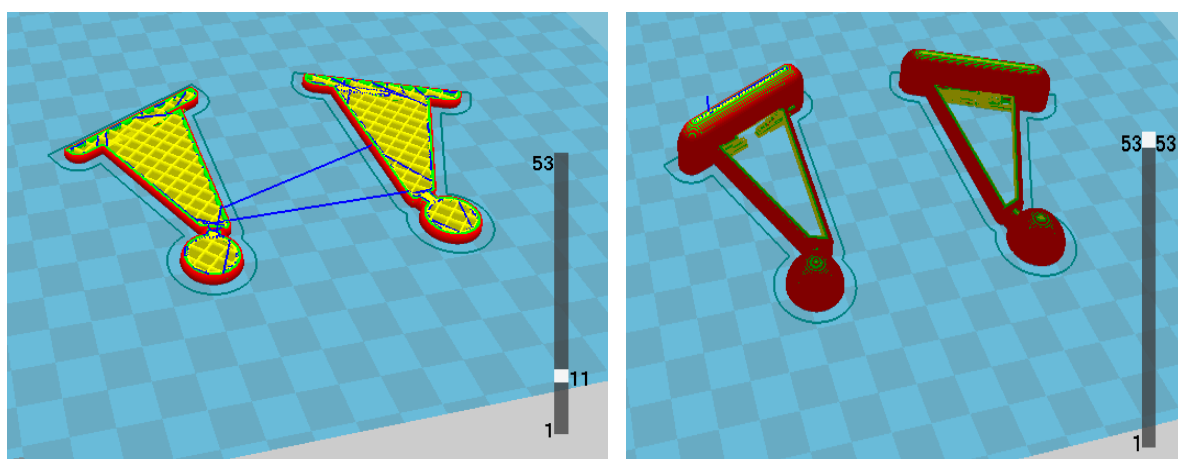
Obr. 5.4: Obal kolem kuličky v případě tisku z materiálu ABS (vlevo) a PLA (vpravo).



Obr. 5.5: Detail poslední vrstvy tisku součásti.

5.4.3 Krček

V případě krčku bylo řešeno dilema, zda tisknout každou součást zvlášť nebo jako celek, který by bylo nutno rozřezat podobně jako obal na sklíčko. Kvůli problematickému tisknutí zaoblených či kulatých součástí byla zvolena druhá možnost – tisk dvou polovin. Proces tisku v programu Cura je zobrazen na obr. 5.6.



Obr. 5.6: Proces průběhu tvorby krčku v 11. a 53. kroku v programu Cura.

5.5 Dokončovací metody

Pro uspokojivý vzhled prototypu je nutné odstranit schodový efekt a dosáhnout hladkého povrchu. Toho lze dosáhnout za pomoci mechanických nebo chemických úprav povrchu. Mezi nejčastější mechanické způsoby patří broušení dílců a tryskání broky. K základním chemickým úpravám patří napařování či máčení v látkách, které povrch dílce rozpouštějí a slévají jej do hladké vrstvy.

5.5.1 Broušení

Broušení je nejlevnějším i nejdostupnějším způsobem povrchové úpravy tištěných součástí. Mezi nejzákladnější pomůcky patří smirkové papíry nebo pásové brusky. Nevýhodou tohoto způsobu je časová náročnost úpravy složitějších součástek, proto se doporučuje pro kusovou nebo malosériovou výrobu.

5.5.2 Tryskání

Tato metoda je druhou nejpoužívanější metodou povrchové úpravy. Užívá písek nebo broky. Metoda je rychlejší než broušení a výhodou je, že lze tryskat i malé součásti. Jediné omezení pro tryskání je velikost komory, kde se tryskání provádí. Proto není možné metodu využít při tvorbě větších součástí. Výsledkem tryskání je hladký a matný povrch.

5.5.3 Napařování a máčení

Principem této metody je expozice upravovaného dílce v látce, která rozpustí materiál modelu, a následným stékáním jsou vyhlazeny nerovnosti.

Na napařování dílců je potřeba uzavíratelná komora, která je naplněna acetonovými parami. Dílec vystavený tomuto prostředí se v povrchových vrstvách začne rozpouštět a působením gravitační síly rozpuštěný plast stéká a slévá povrch na finální hladkou vrstvu. Umístění do uzavřeného prostoru lze opakovat až po dosažení požadované jakosti povrchu. Po vyjmutí z komory se z povrchu dílce začne odpařovat aceton. V prvních hodinách je stále upravovaný dílec měkký a poddajný. Maximální tvrdosti je dosaženo cca po dvou dnech od expozice, kdy se z upravovaných dílců neodpařuje aceton.

Tato metoda se zároveň využívá k opravám poškozených dílců nebo k lepení rozměrných součástek, které nelze na použité tiskárně vytisknout najednou. [33]

5.6 Povrchové úpravy prototypu

Na obr. 5.7 lze vidět povrchové nedokonalosti po tisku. Tyto součásti byly pomocí nože a ručního smirkového papíru obroušeny. Obroušování bylo prováděno oboustrannými brusnými houbičkami různých drsností od P80 po P240. Po vybroušení do finální úpravy byly všechny součásti odmaštěny acetonem.

Mezi další dokončovací operace, které bylo nutno provést, patří slepení dvou polovin krčku k sobě a slepení součásti k uchycení sklíčka. Spojení bylo provedeno lepidlem Pattex, které bylo lehce nanášeno po vnitřní straně součásti, aby po přilepení nevyteklo mimo součást a nezanechalo nežádoucí skvrny mimo požadovanou plochu. Stejným principem bylo nalepeno i na míru vyřezané sklíčko do otvoru, který byl pro něj připraven.



Obr. 5.7: Detail vytisknuté součásti s povrchovými nerovnostmi.

5.7 Montáž tištěného prototypu

Na obr. 5.8 je vyobrazena finální podoba tištěné součásti po povrchových úpravách.



Obr. 5.8: Finální podoba tištěného prototypu.

Vyrobená součást byla pomocí lepidla Pattex nalepena na čelní sklo automobilu ve vozu Škoda Pick-Up. (Obr. 5.9)



Obr. 5.9: Namontovaný prototyp v automobilu Škoda Pick-Up.

6 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

6.1 Vlastnosti výrobku

Ve srovnání výsledného prototypu s kusem ze sériové výroby je ihned znát horší kvalita povrchu, než je kvalita vylisované součásti. Rozdílný je i materiál. Tištěný prototyp je tisknut z materiálu ABS oproti původní verzi, která je z ABS pod označením Terluran GP-22. U tištěného prototypu lze nalézt i pár nedokonalostí, ať už v okolí zaoblení, či ve zkosení. Předcházet jim lze pomocí polohy, ve které je součást vytištěna. Tyto nedostatky je možno odstranit správným nastavením parametrů tiskárny, čímž by se prodloužil čas pro samotný tisk a tím i náklady.

Rozdílná je i pevnost. Některé části prototypu byly lepeny jako dvě poloviny k sobě, čímž ztratily určitou pevnost. Lepené spoje neohrožují potřebnou funkčnost tištěné součásti.

Největší výhoda tištěného prototypu je modelování libovolného tvaru všech součástí. Zde je potřebné zajistit jen správnou funkčnost. Libovolný design či přídavné funkce jako kamery jsou na každém uživateli. Ve finále můžeme zhodnotit FDM metodu jako výbornou pro výrobu prototypů. Kterákoliv změna tvaru nebo rozměru v potřebném CAD softwaru může být v průběhu minut až hodin vytisknuta jako nový kus.

6.2 Výpočet nákladů na výrobu prototypu

Náklady na výrobu prototypu metodou Fused Depositing Modeling se skládají z nákladů na vlastní tisk modelů a nákladů použitých na dokončení výrobku. Celkové náklady na výrobu vnitřního zpětného zrcátka metodou FDM byly vypočteny podle vztahu (6.1):

$$N_C = N_T + N_{TT} + N_D \quad (6.1)$$

kde:

N_C celkové náklady [Kč],
 N_{TT} náklady na materiál součástí [Kč],
 N_T náklady na chod tiskárny [Kč],
 N_D náklady na dokončovací operace [Kč].

Hodinové náklady na použití tiskárny činí přibližně 25 Kč. Náklady na tisk součástí byly vypočteny dle vztahu (6.2):

$$N_T = (t_z + t_o + t_k) \times N_H \quad (6.2)$$

kde:

N_T náklady na chod tiskárny [Kč],
 t_z chod tiskárny při tisku součásti k uchycení sklíčka [min],
 t_o chod tiskárny při tisku obalu na kuličku [min],
 t_k chod tiskárny při tisku krčku [min],
 N_H hodinová sazba chodu tiskárny [Kč].

Náklady na tisk jednotlivých součástí byly vypočteny z objemu jednotlivých součástí [cm^3] a ceny za 1 cm^3 ABS plastu podle vztahu (6.3):

$$N_{\text{TT}} = (V_Z + V_O + V_K) \times N_M \quad (6.3)$$

kde:

N_{TT} náklady na tisk součástí [Kč],
 V_Z objem vytisknutého součásti k uchycení sklíčka [cm^3],
 V_O objem vytisknutého obalu na kuličku [cm^3],
 V_K objem vytisknutého krčku [cm^3],
 N_M náklady na cm^3 materiálu [Kč].

Náklady související s dokončovacími metodami jsou oproti nákladům na tisk vcelku nízké, ale nelze je zanedbat. Jsou tvořeny pořizovací cenou brusného papíru, lepidla Pattex a sklíčka. Náklady na dokončovací metody byly vypočteny dle vztahu (6.4):

$$N_D = N_{\text{BP}} + N_L + N_S \quad (6.4)$$

kde:

N_D náklady související s dokončovací metodou [Kč],
 N_{BP} náklady na koupi brusného papíru [Kč],
 N_L náklady na koupi lepidla Pattex [Kč],
 N_S náklady na koupi sklíčka [Kč].

Jelikož na prototyp nebylo spotřebováno celé lepidlo, nepočítáme plnou kupní částku ale jen část z ní.

$$N_{\text{BP}} = 2,10 \text{ Kč}$$

$$N_L = 4,10 \text{ Kč}$$

$$N_S = 6,70 \text{ Kč}$$

Cena materiálu ABS činí 460 Kč/kg, z čehož vyplývá, že cena za cm^3 je 0,575 Kč.

$$N_{\text{MABS}} = 0,575 \text{ Kč}$$

$$V_Z = 94 \text{ cm}^3$$

$$V_O = 14 \text{ cm}^3$$

$$V_K = 3 \text{ cm}^3$$

Hodinová sazba chodu tiskárny zhruba se pohybuje okolo 25 Kč za hodinu používání.

$$N_H = 25 \text{ Kč}$$

$$t_Z = 381 \text{ minut}$$

$$t_O = 64 \text{ minut}$$

$$t_K = 14 \text{ minut}$$

Náklady související s dokončovací metodou

$$N_{\text{DM}} = N_{\text{BP}} + N_L + N_S = 2,10 + 4,10 + 6,70 = 12,90 \text{ Kč}$$

Náklady na tisk součástí

$$N_{\text{TT}} = (V_Z + V_K + V_O) \times N_{\text{MABS}} = (94 + 3 + 14) \times 0,575 = 63,825 \text{ Kč}$$

Náklady na chod tiskárny

$$N_T = (t_z + t_o + t_k) / 60 \times N_H = (381 + 64 + 14) / 60 \times 25 = 7,65 \times 25 = 191,25 \text{ Kč}$$

Celkové náklady

$$N_C = N_T + N_{TT} + N_D = 191,25 + 63,825 + 12,90 = 267,975 \text{ Kč}$$

Celkové náklady pro použitý prototyp činí 267,975 Kč. Tato hodnota není zcela přesná, jelikož do výpočtu nebyla zahrnuta cena obsluhy tiskárny nebo zhodnocení časových nákladů na dokončovací práce. Při započtení uvedených položek by konečná částka ještě vzrostla.

6.3 Porovnání s dílem dostupný na trhu

Součást, která je předmětem této bakalářské práce, je možné zakoupit na vrakovištích nebo bazarech. Cena se pohybuje v rozmezí 200–400 Kč. Alternativou je zakoupení originálního dílu, který je dražší a jeho cena se pohybuje v řádech tisíců Kč. S přídatnými funkcemi zrcátka, jako jsou kamery nebo samozatmavování zrcátek cena vzrůstá a může se vyšplhat až na 5 000 Kč za kus.

ZÁVĚR

Tato práce se zabývá návrhem a výrobou vnitřního zpětného zrcátka na 3D FDM tiskárně. Bylo zde poukázáno na využití moderních technologií, které mohou být uplatněny při výrobě prototypů.

Rešeršní kapitola byla věnována technologii rapid prototyping, vymezení pojmu, popisu jeho historie, principu a možnostem uplatnění. Následně byla popsána metoda FDM, která je jednou ze součástí této technologie. Detailně byly rozebrány používané materiály a jejich výhody či nevýhody.

V další kapitole byla popsána samotná součást, která se stala předlohou prototypu, její požadované vlastnosti, design a výpočet síly potřebné k přetlačení kuličky do kloubového uložení.

V následující kapitole byly uvedeny všechny vymodelované varianty a na základě možností tiskárny a pevnostní analýzy byla vybrána nejvhodnější varianta, příslušný materiál, tvar nebo podmínky geometrie samotné součásti.

Součást byla vyexportována do formátu stl a načtena do programu Cura, v němž byly nastaveny parametry tisku a data byla poslána do 3D tiskárny. Vytisknuté součásti prototypu byly důkladně obroušeny a odmaštěny. Následovala montáž do automobilu.

Poslední kapitola se věnuje zhodnocení z hlediska technického i ekonomického. V technickém zhodnocení je vyrobený prototyp srovnán s lisovaným kusem a v ekonomickém zhodnocení je celý výrobní proces cenově zdokumentován.

Závěrem je možno konstatovat, že s ohledem na technologické požadavky při modelování součástí a na výrobní náklady se v dnešní době metoda FDM jeví jako výhodná hlavně pro kusovou nebo prototypovou výrobu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. PÍŠKA, Miroslav. *Speciální technologie obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. ISBN 978-80-214-4025-8.
2. GEBHARDT, Andreas. *Understanding additive manufacturing: rapid prototyping – rapid tooling – rapid manufacturing*. Munich: Hanser, c2012, ix, 164 s. ISBN 978-1-56990-507-4.
3. EFUNDA, Inc., Sunnyvale, CA. *Rapid Prototyping: An Overview*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.efunda.com/processes/rapid_prototyping/intro.cfm
4. WIKIPEDIA. *Fused deposition modeling*. [online]. Duben 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Fused_deposition_modeling#/media/File:FDM_by_Zureks.png
5. MATERIALS. *Biocompatibility of Advanced Manufactured Titanium Implants – A Review*. [online]. Srpen 2014. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.mdpi.com/materials/materials-07-08168/article_deploy/html/images/materials-07-08168-g010.png
6. EVEKTOR, spol. s.r.o., Kunovice, ČR. *3D tisk technologií FDM*. [online]. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z <http://www.evektor.cz/cz/rapid-prototyping>
7. PK MODEL, spol. s.r.o., Praha, ČR. *Technologie 3D tisku* [online]. [vid. 2017-03-23] Dostupné z <http://www.pkmodel.cz/3Dtisk.html>
8. MATERIALISE. *FDM: Materiály a datové listy*. [online]. 2013. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.materialise.cz/fdm-materialy-datove-listy>
9. FUTUR3D, HUMAN AND TECHNOLOGY. *Materiály pro 3D tisk*. [online]. 2014. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.futur3d.net/materialy-pro-3d-tisk>
10. FDM materiály | Profesionální 3D tisk a průmyslové 3D tiskárny Stratasys - 3D tisk kovu. *Profesionální 3D tisk a průmyslové 3D tiskárny Stratasys - 3D tisk kovu*. [online]. 2015. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.objet.cz/materialy/fdm-materialy>
11. FISHERUNITECH. *FDM Materials*. [online]. 2012. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.funtech.com/FDM-Materials>
12. AUTODILY – JIMO. *Přední nárazník VW Golf V – GTI LOOK-ABS PLAST*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. http://www.autodilyjimo.cz/temp/foto_detail_small_zoom_14356_1.jpg
13. STRATASYS. *Najděte si svůj FDM termoplast*. [online]. 2014. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.stratasys.com/materials/fdm>
14. 3D-TISK. *Fused Deposition Modeling*. [online]. 2014. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.3d-tisk.cz/fused-deposition-modeling/>
15. EASYCNC, AFFORDABLE 3D PRINTERS. *Použití materiálu PLA*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.easycnc.cz/inpage/pla/>
16. 3D PRINTER AND 3D PRINTING NEWS. *Stratasys launches new UV-resistant thermoplastic material ASA for printing*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.3ders.org/images2014/stratasys-asa-thermoplastic-uv-resistance-2.jpg>
17. SPRING, ENGINEERING & PROTOTYPING. *PC-ABS*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: http://www.springitalia.com/img/applicazioni/materiali/stampa-3d/fused-deposition-modeling/pc-abs/PCABS_3.png

18. JAVELIN TECHNOLOGIES INC. *PPSF/PPSU*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.javelin-tech.com/3d-printer/materials/fdm-thermoplastic/ppsf/>
19. SOLIDSMACK. *No More Tan! Ultem 9085 Now Available In Deep, Rich BLACK*. [online]. 2012. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.solidsmack.com/design/no-more-tan-ultem-9085-now-available-in-deep-rich-black/>
20. CIMtech Inc. 3D PRINTING AT ITS BEST. *3D Print Tough Parts for Advanced Applications*. [online]. 2014. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://cimtech3d.com/materials/fdm-materials/nylon-12>
21. STRATASYS. DIRECT MANUFACTURING. *Fused Deposition Modeling Materials*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://www.stratasysdirect.com/materials/fused-deposition-modeling/>
22. PROSPECTOR. *Polylactic Acid (PLA) Typical Properties*. [online]. 2016. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://plastics.ulprospector.com/generics/34/c/t/polylactic-acid-pla-properties-processing>
23. BESIP. *Prvky aktivní bezpečnosti*. [online]. 2012. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.ibesip.cz/cz/ridic/bezpecne-vozidlo/moderni-technologie-vozidel>
24. Autodesk Inventor: 2D i 3D konstruování jednoduše. MICHL, Vladimír. CAD Studio a.s. [online]. Praha, 2014 [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/inventor>
25. Inventor | Software pro strojírenské návrhy a 3D CAD | Autodesk. *Autodesk | Software pro 3D návrhování, projektování a zábavu* [online]. Copyright © 2016 Autodesk, Inc. Všechna práva vyhrazena. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://www.autodesk.cz/products/inventor/overview>
26. AUTODESK WIKIHELP, *Nápověda k produktu Autodesk Inventor* [online]. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z <http://www.cadwiki.cz/Inventor.ashx?HL=inventor>.
27. ZEMČÍK, Oskar. TECHNOLOGICKÉ PROCESY: část obrábění. *Vysoké učení technické v Brně* [online]. Brno, 2007 [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TechnProcesy.pdf>
28. PAUER, Václav. *Vývoj konstrukce závodních vozů*. Praha: GRADA, 2012. ISBN 978-80-247-7523-4.
29. LETECKÁ MEDICÍNA – Smrtící přetížení. *ARMÁDNÍ NOVINY nejčtenější vojenský web* [online]. Copyright © 2017 [vid. 2017-03-23] Dostupné z: <http://www.armadninoviny.cz/letecka-medicina-smrtici-pretizeni.html>
30. RepRap. *RepRap* [online]. Leden 2016 [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://reprap.org>.
31. O 3D tisku. JOSEF, Průša. *Josefprusa*. [online]. 2011. [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <http://josefprusa.cz/co-je-reprap/>
32. ULTIMAKER. *CURA AND 3D PRINTING. MADE FOR EACH OTHER*. [online]. 2015 [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://ultimaker.com/en/products/cura-software>
33. CORE [online]. Copyright ©B [vid. 2017-03-23]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/30309621.pdf>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

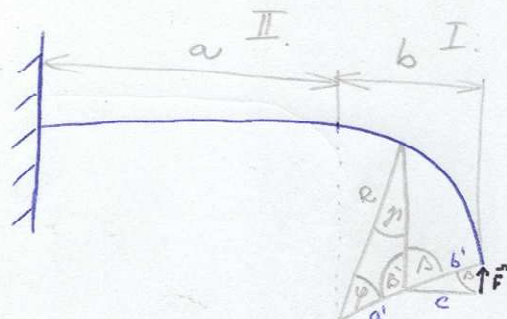
Zkratka	Jednotka	Popis
2D	[-]	Dvourozměrný
3D	[-]	Trojrozměrný
ABS	[-]	Akrylonitrilbutadienstyren
CAD	[-]	Computer aided design
FDM	[-]	Fused deposition modeling
PC	[-]	Polykarbonát
PLA	[-]	Polylaktid
PPSU/PPSF	[-]	Polyferylsulfon
RP	[-]	Rapid Prototyping
RepRap	[-]	Replicating Rapid-Prototyper
STL	[-]	Stereolitografie (formát souboru)
UV	[-]	Ultraviolet

Symbol	Jednotka	Popis
N_{BP}	[Kč]	náklady na koupi brusného papíru
N_C	[Kč]	celkové náklady
N_D	[Kč]	náklady na dokončovací operace
N_H	[Kč]	náklady na chod tiskárny
N_L	[Kč]	náklady na koupi lepidla Pattex
N_M	[Kč]	náklady na cm ³ materiálu
N_S	[Kč]	náklady na koupi sklíčka
N_T	[Kč]	řezná rychlost
N_{TT}	[Kč]	náklady na tisk součástí
t_K	[min]	chod tiskárny při tisku krčku
t_O	[min]	chod tiskárny při tisku obalu na kuličku
t_Z	[min]	chod tiskárny při tisku součásti k uchycení sklíčka
V_K	[cm ³]	objem vytisknutého krčku
V_O	[cm ³]	objem vytisknutého obalu na kuličku
V_Z	[cm ³]	objem vytisknutého součásti k uchycení sklíčka

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Ruční výpočet potřebné síly
Příloha 2	Výpočet potřebné síly pomocí programu MathCad

PŘÍLOHA 1



$$a = 5,8 \text{ mm}$$

$$b = 5,2 \text{ mm}$$

$$R = 8 \text{ mm}$$

$$E = 2,13 \text{ GPa}$$

$$w = 1,7 \text{ mm}$$

$$\beta = \sin\left(\frac{b}{R}\right)^{-1} = \sin\left(\frac{5,2}{8}\right)^{-1} = 1,652 \approx 40^\circ 54'$$

I. $\beta' = 180^\circ - \beta$

$$\gamma' = 180^\circ - \gamma - \beta' = 180^\circ - \gamma = 180^\circ + \beta \Rightarrow \beta - \gamma$$

$$\frac{R}{\sin(\beta')} = \frac{a'}{\sin(\gamma')}$$

$$b' = R - a' = R - R \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)} = R \left(1 - \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)}\right)$$

$$\sin \beta = \frac{c}{b'} \Rightarrow c = b' \sin \beta = R \sin \beta \left(1 - \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)}\right)$$

$$\gamma \in (0, \beta)$$

$$\gamma_0^I = F \cdot c = F \cdot R \sin \beta \left(1 - \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)}\right)$$

II.

$x \in (0, a)$
 $\gamma_0^I = F \cdot (b+x)$

$$W = \frac{\partial W}{\partial F} = \underbrace{\int_0^\beta \frac{F \cdot R \sin \beta \left(1 - \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)}\right)}{E \cdot J_y} \cdot R \sin \beta \left(1 - \frac{\sin(\beta - \gamma)}{\sin(180 - \beta)}\right) \cdot R d\gamma}_{I_1} + \underbrace{\int_0^a \frac{F(b+x)}{E \cdot J_y} (b+x) dx}_{I_2}$$

$$E \cdot J_y \cdot w = F \cdot (I_1 + I_2)$$

$$F = \frac{E \cdot J_y \cdot w}{I_1 + I_2}$$

PŘÍLOHA 2

$$w := 1.7\text{mm}$$

$$a := 5.8\text{mm}$$

$$b := 5.2\text{mm}$$

$$E := 2.13\text{GPa}$$

$$R_1 := 8\text{mm}$$

$$\beta := \sin\left(\frac{5.2}{8}\right)^{-1} = 1.652$$

$$I_1 := \int_0^\beta R_1 \cdot \sin(\beta) \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(\pi - \beta)} \cdot \left[R_1 \cdot \sin(\beta) \cdot \left(1 - \frac{\sin(\beta - \phi)}{\sin(\pi - \beta)} \right) \right] \cdot R_1 \, d\phi \rightarrow 1.081 \times 10^2 \cdot \text{mm}^3$$

$$I_2 := \left[\int_0^a (b + x) \cdot (b + x) \, dx \right] \rightarrow 3.968 \times 10^2 \cdot \text{mm}^3 \quad J_y := 16.37\text{mm}^4$$

$$I_c := I_1 + I_2 \rightarrow 3.968 \times 10^2 \cdot \text{mm}^3 + 1.081 \times 10^2 \cdot \text{mm}^3 = 5.049 \times 10^{-7} \, \text{m}^3$$

$$F_c := \frac{E \cdot J_y \cdot w}{I_c} = 117.406 \text{N}$$